

論文

[2043] RCばりの圧縮側に用いる異形棒鋼の圧縮実験

正会員 矢代秀雄 (日本大学建築工学科)

正会員○清水庸介 (日本大学建築工学科)

1. まえがき

鉄筋コンクリート部材では、曲げを受けると引張側鉄筋の降伏後、圧縮側の被りコンクリートの圧縮破壊ならびに剥落により、耐荷能力が一時的に低下する。その後、圧縮側鉄筋に座屈を生じると耐荷能力は急激に低下する。しかし、横補強筋の間隔を密に配筋して、圧縮側鉄筋の座屈を抑制することにより、大きな変形まで部材の耐荷能力を確保できることが既往の研究によりわかっている。[1]

本研究は、異形棒鋼の一軸圧縮実験を行い、圧縮を受ける異形棒鋼の座屈性状を把握し、梁の大変形時における耐荷能力を算定する際に必要と思われる圧縮側鉄筋の応力-ひずみ関係を得ようとするものである。

2. 実験概要

2.1 実験計画

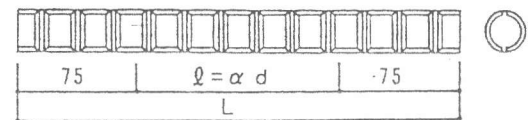
鉄筋コンクリート部材内における横補強筋間の拘束長さを実験の比較対象とする。鉄筋コンクリート部材内の圧縮鉄筋の横補強筋により抑制されている部分は、疑似的に固定と仮定する。実験変数は、異形棒鋼の径と拘束長さとした。

異形棒鋼の径については、D19とD22とD25の3種類とした。拘束長さ(ℓ)については、鉄筋の呼び径(d)の倍数とし、4d, 6d(5d), 8d, 10d, 12d, 14d, 20dの7種類とした。なお、試験片は各々3本について行った。

2.2 加力方法

加力は、一軸単調圧縮載荷とし、100 tonf万能試験機により行った。

棒鋼の両端部は、軸方向に対して直角かつ両端面が平行になるよう機械加工を行った。加力用の治具は、図-3に示すように15cm×15cm×10cmの鋼製のブロックに鉄筋の



(d=19, 22, 25mm; α=4, 6(5), 8, 10, 12, 14, 20)

単位:mm

図-1 試験片形状

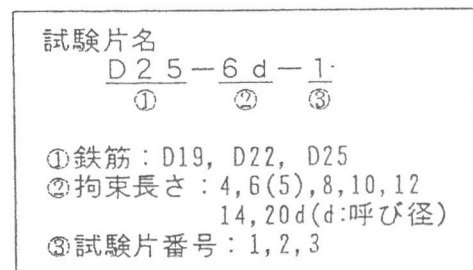


図-2 試験片名

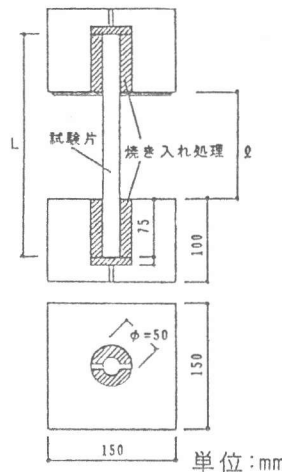


図-3 加力治具

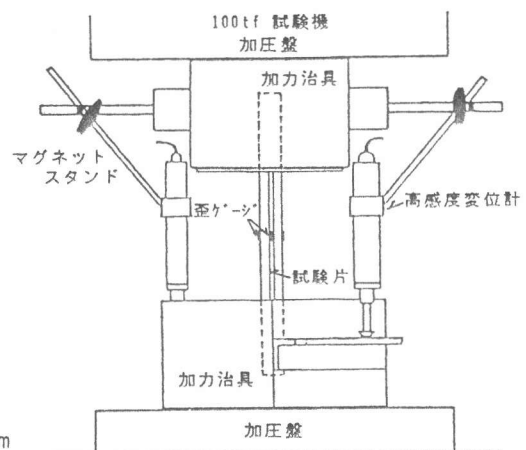


図-4 加力および測定方法

呑込み深さが75mmになるような穴をあけ、鉄筋径に見合うスペーサ（焼き入れ済み）を挿入し、固定するものとした。

2.3 測定方法

測定は、図-4に示すように加力治具間の軸方向変位（2箇所）を電気式高感度変位計により

表-1 実験結果一覧

鉄筋径	拘束長さ d	試験片番号	公称断面積 (cm ²)	全長 L 拘束長さ (ℓ) (mm)	比例限度を越した点				降伏時				最大耐力時		
					P (tonf)	σ _k (kgf/cm ²)	軸変形		P (tonf)	σ _y (kgf/cm ²)	軸変形		P (tonf)	σ _{max} (kgf/cm ²)	
							変位計 (%)	ゲージ (%)			変位計 (%)	ゲージ (%)			
D19	4	1	2.865	226 (76)	10.45	3648	0.28	0.20	11.00	3839	0.41	0.21	>17.50	>6108	
					10.78	3761	0.29	0.21	11.06	3860	0.35	0.23	>17.78	>6206	
					10.68	3728	0.25	0.21	10.96	3825	0.31	0.22	>18.22	>6360	
	5	2		246 (96)	10.98	3832	0.27	0.22	11.10	3874	0.30	0.22	15.18	5298	
					10.76	3756	0.25	0.22	10.90	3805	0.30	0.23	15.04	5250	
					10.80	3770	0.25	0.23	10.88	3798	0.30	0.25	14.66	5117	
	8	2		302 (152)	10.14	3538	0.23	0.20	11.08	3867	0.38	0.22	(11.08)	(3867)	
					10.76	3756	0.24	0.21	—	—	—	—	(10.76)	(3756)	
					10.92	3812	0.23	0.21	—	—	—	—	(10.92)	(3812)	
	10	2	340 (190)	10.81	3772	0.24	0.22	10.82	3777	0.28	0.22	(10.82)	(3777)		
				10.84	3784	0.23	0.22	—	—	—	—	(10.84)	(3784)		
				10.42	3637	0.28	0.23	—	—	—	—	(10.42)	(3637)		
	12	2	378 (228)	10.54	3679	0.19	0.21	10.98	3832	0.27	0.26	(10.98)	(3832)		
				10.30	3595	0.25	0.23	—	—	—	—	(10.30)	(3595)		
				10.67	3725	0.25	0.21	10.84	3784	0.30	0.23	(10.84)	(3784)		
	14	2	416 (266)	10.16	3546	0.23	0.20	10.76	3756	0.29	0.22	(10.76)	(3756)		
				10.18	3553	0.24	0.25	—	—	—	—	(10.18)	(3553)		
				9.80	3421	0.16	0.28	—	—	—	—	(9.80)	(3421)		
	20	2	530 (380)	9.66	3372	0.20	0.21	—	—	—	—	(9.66)	(3372)		
				10.30	3595	0.20	0.20	—	—	—	—	(10.30)	(3595)		
				9.40	3281	0.20	0.19	—	—	—	—	(9.40)	(3281)		
	D22	4	1	3.871	238 (88)	12.82	3312	0.25	0.18	13.40	3462	0.35	0.19	>20.95	>5412
						12.42	3208	0.24	0.18	13.65	3526	0.48	0.19	>20.20	>5218
						13.14	3394	0.24	0.19	13.43	3469	0.33	0.20	>21.30	>5502
6		2	282 (132)		13.27	3428	0.23	0.18	13.47	3480	0.37	0.19	16.72	4319	
					12.76	3296	0.23	0.18	13.35	3449	0.40	0.19	15.42	3983	
					12.90	3332	0.23	0.18	13.40	3462	0.37	0.18	15.48	3999	
8		2	326 (176)		12.44	3214	0.22	0.17	12.98	3353	0.33	0.19	(12.98)	(3353)	
					12.24	3162	0.21	0.17	13.08	3379	0.35	0.18	(13.08)	(3379)	
					12.44	3214	0.22	0.17	12.56	3245	0.33	0.18	13.67	3531	
10		2	370 (220)	12.50	3229	0.21	0.18	13.30	3436	0.34	0.20	(13.30)	(3436)		
				12.40	3203	0.22	0.17	13.22	3415	0.34	0.20	(13.22)	(3415)		
				11.94	3084	0.21	0.17	13.18	3405	0.34	0.23	(13.18)	(3405)		
12		2	414 (264)	12.15	3139	0.20	0.17	13.35	3449	0.33	0.22	(13.35)	(3449)		
				12.15	3139	0.20	0.16	12.60	3255	0.27	0.17	(12.60)	(3255)		
				12.10	3126	0.20	0.17	12.84	3317	0.30	0.18	(12.84)	(3317)		
14		2	458 (308)	11.96	3090	0.20	0.17	13.08	3379	0.30	0.18	(13.08)	(3379)		
				12.11	3128	0.22	0.16	12.74	3291	0.27	0.17	(12.74)	(3291)		
				11.73	3030	0.19	0.16	12.56	3245	0.25	0.17	(12.56)	(3245)		
20		2	590 (440)	12.66	3270	0.20	0.17	—	—	—	—	(12.66)	(3270)		
				12.04	3110	0.19	0.17	—	—	—	—	(12.04)	(3110)		
				12.90	3332	0.19	0.18	—	—	—	—	(12.90)	(3332)		
D25		4	1	5.067	250 (100)	17.08	3371	0.24	0.19	18.20	3592	0.45	0.20	>28.85	>5694
						16.53	3262	0.30	0.19	18.15	3582	0.47	0.21	>28.90	>5704
						17.34	3422	0.27	0.19	18.30	3612	0.50	0.20	>28.20	>5565
	6	2	300 (150)		16.92	3339	0.23	0.19	18.15	3582	0.44	0.20	>21.60	>4263	
					16.66	3288	0.22	0.18	18.05	3562	0.43	0.20	>21.90	>4322	
					16.30	3217	0.27	0.18	18.00	3552	0.44	0.21	>20.90	>4125	
	8	2	350 (200)		16.52	3260	0.22	0.18	18.00	3552	0.39	0.20	(18.00)	(3552)	
					16.56	3268	0.23	0.19	18.05	3562	0.43	0.21	(18.05)	(3562)	
					16.97	3349	0.23	0.19	18.20	3592	0.39	0.21	(18.20)	(3592)	
	10	2	400 (250)	16.61	3278	0.20	0.18	18.00	3552	0.28	0.20	(18.00)	(3552)		
				17.01	3357	0.22	0.19	18.10	3572	0.29	0.21	(18.10)	(3572)		
				16.97	3349	0.21	0.19	17.90	3533	0.33	0.28	(17.90)	(3533)		
	12	2	450 (300)	16.97	3349	0.22	0.19	18.15	3582	0.33	0.20	(18.15)	(3582)		
				17.02	3359	0.23	0.21	17.60	3473	0.29	0.24	(17.60)	(3473)		
				17.80	3513	0.22	0.20	—	—	—	—	(17.80)	(3513)		
	14	2	500 (350)	17.14	3383	0.21	0.19	17.95	3543	0.31	0.20	(17.95)	(3543)		
				17.42	3438	0.22	0.19	17.85	3523	0.28	0.24	(17.85)	(3523)		
				17.33	3420	0.22	0.19	17.60	3473	0.26	0.20	(17.60)	(3473)		
	20	2	650 (500)	16.70	3296	0.19	0.19	—	—	—	—	(16.70)	(3296)		
				16.55	3266	0.15	0.20	—	—	—	—	(16.55)	(3266)		
				17.20	3395	0.19	0.19	—	—	—	—	(17.20)	(3395)		

※ 比例限度を越した点：比例限度付近で応力-ひずみ曲線の勾配が緩やかになることが確認できた点

降伏時：降伏棚に達したと思われる点

>：実験を途中で終了したため、それ以上の値になる場合

()：弾性座屈開始時または降伏時が最大値となった場合

測定した。また、各々の試験片中央のリブ両側とふし（谷部）両側に箔ひずみゲージ（検長 3mm）を4枚貼付し、軸方向のひずみを測定した。

3. 実験結果

実験結果一覧を表-1に、棒鋼の引張試験における応力-ひずみ曲線を図-5に、圧縮実験の応力-ひずみ曲線（S-S）および曲率-ひずみ曲線（C-S）を図-6、7に示す。なお、応力は荷重を公称断面積で除したものを、ひずみは2箇所で測定した軸方向変位の平均値を棒鋼全長（L）で除したものである。また、曲率は棒鋼に貼付した4枚のひずみゲージより最もひずみ勾配が大きくなる方向の曲率を示したものである。

(1) 応力-ひずみ関係について

図-6、7に示す応力-ひずみ曲線についてみると、4dの試験片では、弾性域において直線的な応力の上昇がみられ、およそ0.2%を越えたところで勾配が緩やかになり、引張試験の値とほぼ等しい降伏棚に達し、その後引張試験とほぼ等しいひずみで硬化域に入っている。硬化域での応

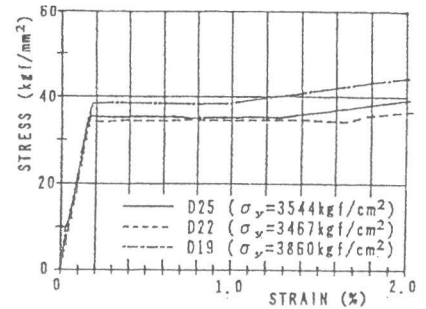


図-5 応力-ひずみ曲線（引張）

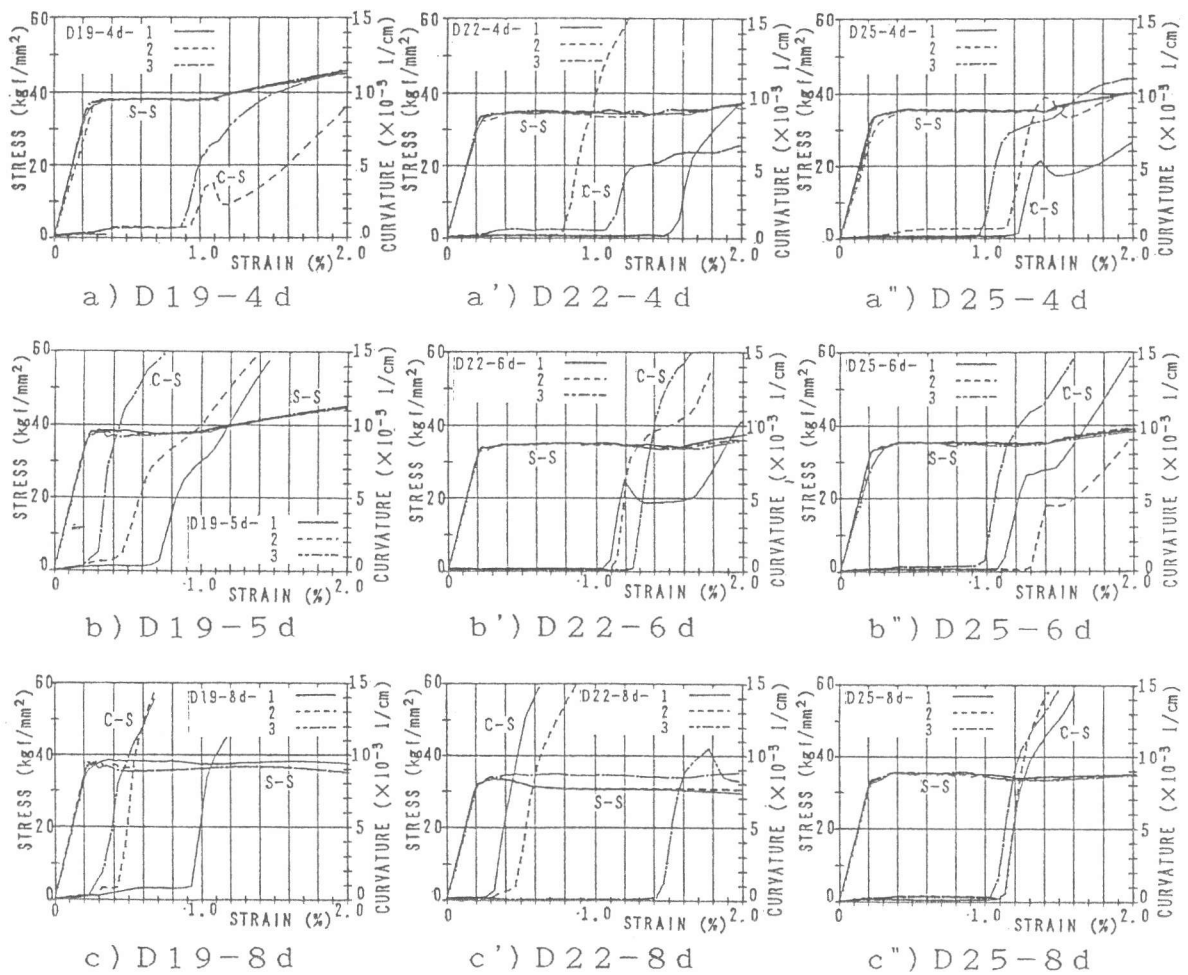


図-6 応力・曲率-ひずみ曲線（圧縮：その1）

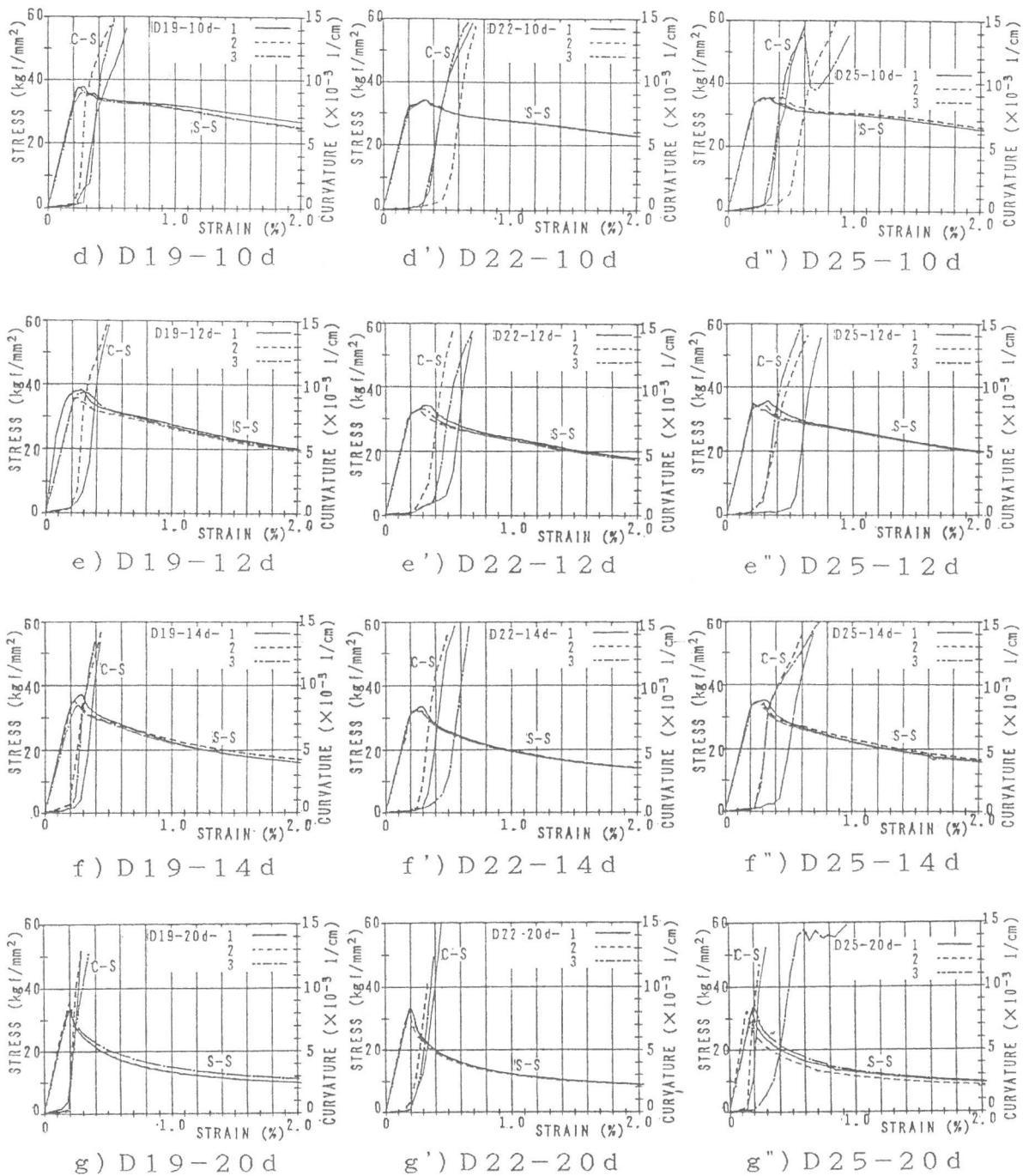


図-7 応力・曲率-ひずみ曲線 (圧縮: その2)

力の上昇は、引張試験よりも高い上昇となっている。5d、6dの試験片では、4dと同様に、弾性域において直線的な応力の上昇がみられ、およそ0.2%を越えたところで勾配が緩やかになり、降伏棚に達している。その後1.0%位から硬化域に入っているが、応力の上昇は4dよりもやや小さくなっている。8dの試験片は、弾性域から降伏棚に入るまで、6dと大きな差はみられないが、降伏棚において1.0%位からやや応力が下がっており、硬化域のある6dと異なっている。しかし、ここでは大きな応力の低下にはなっていない。また、D19、D22の試験片において8d以外の試験片では、3本のバラツキが余りみられないのに対し、8dではややバラツキがみられた。10dの試験片についてみると、弾性域における差は余りみられないが、特に勾配が緩くなる

ところから、降伏棚に入るとき引張試験における降伏応力度とほぼ等しい応力に達するが、0.3%を越えたところより、徐々に応力が低下している。さらに12d, 14d, 20dと拘束長さが大きくなるにしたがって、ひずみの増加に対する応力の低下する割合が大きくなっている。特に20dの試験片では、降伏棚に達する前に応力が低下しており、引張試験の降伏応力度に達していない。

(2) 曲率-ひずみ関係について

応力-ひずみ曲線と曲率-ひずみ曲線との関係を見ると、ひずみ硬化のみられる拘束長さ6d以下の試験片では、曲率の増大する時期がひずみ0.8%以上となっており、硬化域において曲率の増加割合が変化する傾向がみられた。しかし、D19の5dについてみると曲率の増大する時期が0.8%以下になっているにも関わらずひずみ硬化がみられた。また、降伏棚における応力の低下がみられる8d, 10dでは曲率の増加が、それぞれ約0.4%, 約0.3%でみられた。特に20dでは、ひずみ0.2%以前に曲率の増加がみられた。拘束長さ8d以上の試験片では、曲率の増大と応力の低下はほぼ等しい時期にみられ、拘束長さが長くなるほどその時期が早く、曲率が増加する割合も大きくなる傾向がみられた。

(3) 棒鋼の径について

次に棒鋼の径による影響を比較すると、4d, 6d, 10d, 12d, 14d, 20dでは棒鋼の径による影響は余りみられていない。しかし、8dについてみると、D19とD22は降伏棚における応力がD25に比べ少ない傾向がみられるが、D22-8d-3のように、曲率の増加する時期が遅く、硬化域に入る傾向を示す試験片もみられた。

4. 梁の曲げ実験との比較

異形棒鋼の一軸圧縮実験の結果に基づいて、圧縮鉄筋に対するあばら筋間隔を実験変数とした実験を行った。圧縮鉄筋にD19を使用し、複筋比 η が0.4となるような梁において、あばら筋には2-D10を用い、間隔を6d, 8d, 10d, 20dと変化させた。

梁の曲げ実験において、図-9に示すようにコンクリートの圧縮破壊まで4試験体にほとんど差はなく、圧縮破壊以降、圧縮鉄筋の上下に貼付したひずみゲージにより圧縮鉄筋が座屈する傾向がみられたが、6dの試験体は $12\delta_y$ を過ぎても大きな耐荷能力の低下はみられなかった。また、8dの試験体は6dには劣るが著しい耐荷能力の低下はみられず、10dの試験体においては $8\delta_y$ 付近より低下がみられた。さらに20dの試験体ではコンクリートの圧縮破壊による耐荷能力

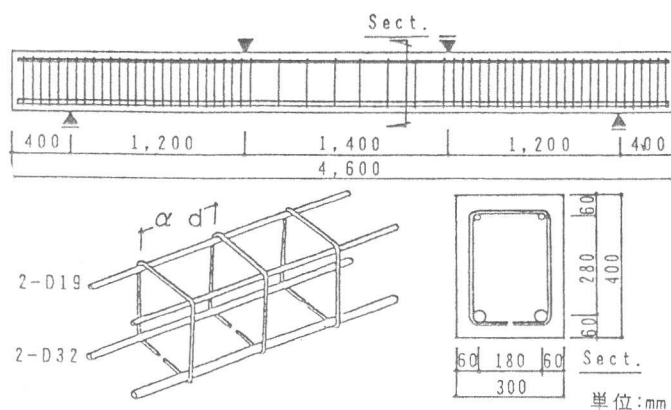


図-8 試験体形状 (梁の曲げ実験)

表-2 試験体形状および使用材料

断面および形状	
b=30cm, D=40cm, dc=dt=6cm 純曲げスパン=140cm, 剪断スパン=120cm	
使用材料	
圧縮鉄筋	2-D19 $\sigma_y \approx 3700 \text{ kgf/cm}^2$
引張鉄筋	2-D32 $\sigma_y \approx 3870 \text{ kgf/cm}^2$
あばら筋	2-D10 $\sigma_y \approx 3440 \text{ kgf/cm}^2$
コンクリート	$\sigma_B \approx 320 \text{ kgf/cm}^2$

の低下にひきつづき、耐荷能力が低下する傾向がみられた。これら複筋比が 0.4 程度の梁の曲げ実験において、コンクリートの圧縮破壊以降、あばら筋間隔による耐荷能力の低下は、異形棒鋼の圧縮実験における拘束長さによる影響と同じ傾向を示していると考えられる。

5. まとめ

異形棒鋼の一軸圧縮実験により次のことが得られた。

1. 圧縮を受ける異形棒鋼の応力-ひずみ関係は、座屈に伴い、引張を受ける場合と少し異なり、特に降伏する直前において勾配が緩やかになる傾向がみられた。
2. 圧縮を受ける鉄筋の横補強筋による座屈抑制は、鉄筋の呼び径に応じた間隔で配筋することが望ましく、降伏応力を維持できる間隔の境界は、鉄筋の呼び径の 8 倍前後となっている。
3. 圧縮実験の拘束長さによる差異は、梁の曲げ実験におけるあばら筋間隔による差異と同じような傾向を示している。

以上のことより、鉄筋コンクリート部材の大変形時における耐荷能力を算定する場合の圧縮側鉄筋の応力-ひずみ関係の仮定は、横補強筋の間隔を考慮し、棒鋼の圧縮実験における応力-ひずみ曲線を用いることが望ましい。

謝辞 本実験に際し、1990年度卒業研究生の協力を得た。また、異形棒鋼は株式会社伊藤製鉄所の寄付によるもので、ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) 矢代秀雄・清水庸介：鉄筋コンクリートばりの強度とじん性に関する実験的研究（その1. 圧縮鉄筋に対する横補強筋の効果）、日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）、pp1475-1476、1981.9
- 2) 矢代秀雄・清水庸介：鉄筋コンクリートばりのじん性に及ぼす圧縮鉄筋と横補強筋の効果、第5回コンクリート工学年次講演会講演論文集、pp337-340、1983.4
- 3) 矢代秀雄・清水庸介：鉄筋コンクリート用異形棒鋼の圧縮実験（その2. 拘束長さとの座屈性状）、日本大学生産工学部第23回学術講演会、pp17-20、1990.12

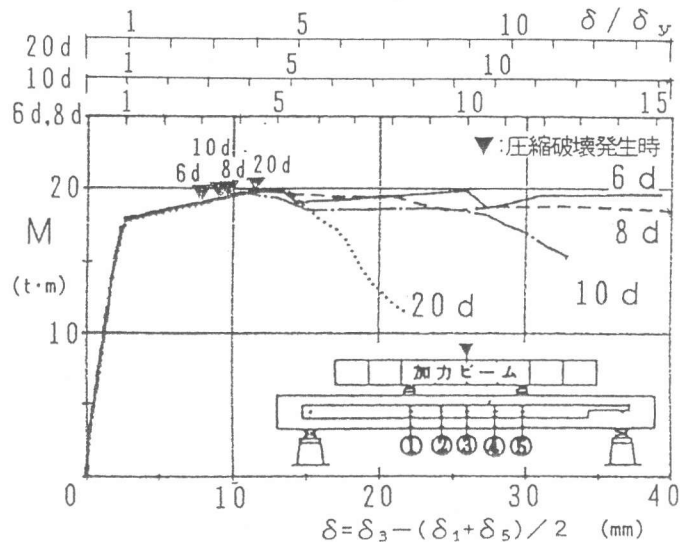


図-9 モーメント-たわみ曲線